## ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ



Южно-Курильск. Вид на вулкан Тятя. Фото с сайта http://kurilskiy.ru/newspost/277.

УДК 550.834:551.14(571.64)







А.Ю. Полец



О.В. Пеньковая

# Глубинное строение литосферы под действующими вулканами Курильских островов и очаги землетрясений

\*Злобин Тимофей Константинович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, профессор Сахалинского государственного университета

E-mail: t.zlobin@mail.ru

\*\*Полец Анастасия Юрьевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института морской геологии и геофизики ДВО РАН

E-mail: polec84@mail.ru

\*\*\*Пеньковая Ольга Витальевна, аспирант Сахалинского государственного университета E-mail: penkovaj.Olga@mail.ru

Изучено глубинное строение литосферы под Курильскими вулканами и очаги современных землетрясений. Построены глубинные сейсмические разрезы вдоль Южных Курил (о. Кунашир, вулканы Тятя, Менделеева, Головнина), Средних Курил (о. Матуа, вулкан Пик Сарычева) и Северных Курил (о. Парамушир, вулканы Чикурачки, Эбеко). Сделаны выводы о наличии и положении магматических очагов и о возможности извержения вулканов.

**Ключевые слова**: глубинное строение, земная кора, верхняя мантия, сейсмические методы, Курильские острова, вулканы, землетрясения.

При изучении вулканов обычно исследуются геологическое строение (в основном на основе поверхностных наблюдений вулканических аппаратов) и процесс извержения: вид извержения, его особенности, продукты, их объем, петрологический и химический состав лав, скорость лавовых и грязекаменных потоков, темпера-

тура, физическое свойства магмы, ее состояние и т.п.

В данной статье изложены результаты изучения внутреннего глубинного строения вулканов и очагов землетрясений.

Исследования Курильских островов проводились под руководством Т.К. Злобина в течение почти 30 лет (с 1975 г. по настоящее время). Были изучены вулканы практически всех островов Большой гряды Курильского архипелага, а также внутренне строение и сейсмотектоника Большой и Малой Курильской гряды. Исследования вулканов проведены: от о-ва Кунашир на юге Большой гряды до о-ва Шумшу на севере, и от о-ва Зеленый до о-ва Полонского Малой гряды. Для этого в пгт. Южно-Курильск на о-ве Кунашир в 1975 г. была создана долговременная база комплексной сейсмической экспедиции ИМГиГ ДВО РАН.

Здесь базировалась высокопроходимая автомобильная техника (ГАЗ-66, вездеходы ГАЗ-47 и ГТТ) и ежегодно по договорам между Российской академией наук, Министерством гражданской авиации РФ и Министерством обороны РФ для нужд экспедиции перегонялся с о-ва Сахалин (из г. Оха) в аэропорт п. Менделеево (о. Кунашир) с последующей перебазировкой в пгт. Южно-Курильск на специально созданную по существующим нормативам площадку вертолет МИ-8, оборудованный усиленными баками для топлива, позволяющий совершать необходимые для сейсмических исследований длительные полеты на максимально возможные расстояния. Это позволяло осуществлять сейсмические наблюдения с передвижными автономными станциями «Черепаха» и «Тайга» на Курильских островах от о-ва Кунашир на Южных Курилах до о-вов Черные Братья и Симушир, распложенных на Центральных Курилах. Продолжение исследований на Северных Курилах (от о-ва Симушир до о-ва Шумшу) осуществлялось с помощью гидрографических судов ГС-47, ГС-298, оборудованных специальными плавсредствами, а также других судов. Это позволило выполнить в течение ряда лет геолого-геофизические исследования на удаленных и труднодоступных островах Курильского архипелага.

Для решения первой задачи исследований вулканов необходимо, прежде всего, дать основные понятия о строении вулкана (вулканического аппарата), строении вулканической системы и классификации вулканов.

Вторая задача исследований – изучение действующих вулканов Курильских островов в связи с опасностью их извержения для жизнедеятельности на островах.

В России действующие вулканы известны на Курильских о-вах и Камчатке. Всего на Курилах, по данным В.И. Федорченко<sup>1</sup>, В.А. Ермакова<sup>2</sup> и др., насчитывается 68 наземных вулканов, из них 39 действующих.

25 июня 1989 г. проснулся вулкан Иван Грозный на Итурупе. Это извержение было нами специально исследовано и описано<sup>3</sup>. Позже, в 2012-2013 гг., было еще одно эксплозивное извержение этого вулкана, описанное Р.В. Жарковым и Д.Н. Козловым<sup>4</sup>. Были извержения и на Средних Курилах, например вулкана Пик Сарычева в 2009 г.<sup>5</sup>. Особенно часты извержения вулканов были на Северных Курилах. Здесь, например, только на о-ве Парамушир вулкан Чикурачка за последние 39 лет извергался 8 раз<sup>6</sup>.

Таким образом, активная деятельность вулканов на Курильских островах имеет место и в настоящее время. Согласно Е.К. Мархинину и А.И. Абдурахманову', извержения на Курилах в среднем происходят раз в 5 лет, один раз в 11-22 года происходят умеренные и средние, один раз в 33 года – сильные, а раз в столетие – гигантские.

## 1. Строение вулканов и их структурно-генетические типы

Принципиальная схема вулканов типа Сомма-Везувий представлена на рис. 1. Это, как правило, конусовидная гора и в нем выделяют: 1 - кальдеру, 2 - сомму; 3 - конус (вершинный); 4 – кратер (центральный или побочный); 5 - жерло (выводной канал); 6 лавовый поток; 7 – вулканический очаг.

Выделяются следующие типы вулканов: иентрального типа, стратовулканы (правильные конусы); кальдерные (концентрические провалы, образованные при взрыве вулканического конуса или его обрушении); щитовые (большие уплощенные возвышенности с пологими склонами типа Мауна-Лоа на Гавайях). Кроме того, можно назвать щитовые *трещинного* типа (Исландия) и отдельные мелкие экструзии. Типы вулканических построек описали Х. Раст<sup>9</sup>, Г. Макдоналд<sup>10</sup>,



Рис. 1. Схема строения вулкана, из работы Якушевой и др.<sup>8</sup>

Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы: учебное пособие. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2010. 228 с. <sup>6</sup> Злобин Т.К., Пеньковая О.В. Анализ связи сейсмичности и извержений вулканов Чикурачки и Эбеко (о. Парамушир, Ку-

рильские острова) //Система «Планета Земля». М.: ЛЕНАНД, 2012. С. 272-275

Мархинин Е.К. Абдурахманов А.И. Под боком у вулкана. Южно-Сахалинск: Гермес, 1990. 38 с.

Федорченко В.И., Родионова Р.И. Ксенолиты в лавах Курильских островов Новосибирск: Наука, 1975. 116 с.

Ермаков В.А., Абдурахманов А.И., Ермаков А.В., Семакин В.П., Штейнберг Г.С. Указ. соч.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Абдурахманов А.И., Злобин Т.К., Мархинин Е.К., Тараканов Р.З. Извержение вулкана Иван Грозный в 1989 году // Вулканология и сейсмология. 1990. № 4. С. 3–9. <sup>4</sup> Жарков Р.В., Козлов Д.Н.Эксплозивное извержение вулкана Иван Грозный в 2012- 2013 гг. (о. Итуруп, Курильские остро-

ва // Вестник ДВО РАН. 2013. № 3. С. 39-44.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Якушева А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И. Общая геология. М.: МГУ, 1988. 448 с.

 <sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344 с.
<sup>10</sup> Макдоналдс Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 431 с.

А.Я. Святловский<sup>1</sup> и др. Причем двое последних авторов называли также типы вулканических извержений. О типах вулканических сооружений и их классификацию давал Д.П. Рэдулеску<sup>2</sup>.

Отметим некоторые особенности вулканических построек.

1. Стратовулканы. Это правильный конус или усеченный. Углы наклона разные.

2. Кальдерные вулканы различаются по происхождению. Выделяют кальдеры обрушения и взрыва.

Типичные кальдеры обрушения лучше всего представлены на Гавайских островах Килауза и Мауна Лоа. На Курилах таким кальдерным вулканом является вулкан Головнина на острове Кунашир<sup>3</sup>.

Кальдер взрыва на Курильских о-вах много, например, кальдеры вулканов Львиная Пасть, Медвежий, Заварицкого и др. При этом кальдеры, образованные в результате взрывов, могут иметь глубину 0,3-0,4 и диаметр до 4-8 км<sup>4</sup>. Диаметр кальдер обрушения может достигать 10-17 км (вулкан Килауэа на Гавайях) и 45 км (вулкан Ла-Гарита, горы Сан-Хуан, штат Колорадо, США). Причины обрушения различны, но в основном это компенсационное опускание в результате: а) опустошения магматической камеры, питающей вулкан; б) оттока магмы.

Очаги вулканов, как и землетрясений, в значительной степени распложены в близких диапазонах глубин, а сами активные вулканы расположены в основном в одних и тех же областях, что и эпицентры землетрясений. Так, очаги вулканов и зоны их магмообразования располагаются от нескольких километров до 150 км и более, то есть в земной коре и литосфере, являющейся частью верхней мантии. Очаги землетрясений, о которых мы писали выше, также залегают от самых первых километров в земной коре до глубин в верхней мантии, причем как до этих, так и еще до больших – 600-650 км. Это связано с рядом причин их общего возникновения, хорошо объясняемых тектоникой плит.

Современный вулканизм характеризуется приуроченностью к подвижным поясам большой протяженности. Изолированные вулканы встречаются редко. Общее число активных вулканов на Земле превышает 700, по данным Д.П. Рэдулеску<sup>5</sup>, около 800 – по данным В.И. Влодавца<sup>6</sup> и 1000 – по Н.В. Короновскому<sup>7</sup>. Разные цифры у разных авторов связаны с тем, что отнесение того или иного вулкана к активным, то есть действующим, или окончательно потухшим, является довольно спорным. Имеются случаи, когда вулкан, считавшийся сотни и даже тысячи лет потухшим, вдруг становится активным. Это может привести даже к национальной проблеме. Так было, например, в ночь с 22 на 23 января 1973 г. с вулканом Хельгафьелл близ портового города Весманнаэйяр на о-ве Хеймаэн у южного побережья Исландии, имеющего немаловажное значение для ее рыбной отрасли. Он не извергался с незапамятных времен, поэтому начавшееся извержение могло «привести Исландию к экономической катастрофе»»

Около 75 % всех действующих вулканов планеты располагаются по периферии Тихого океана, формируя т.н. Огненное кольцо. Они приурочены к активным континентальным окраинам (конвергентные границы литосферных плит) или зонам субдукции, где океаническая кора погружается (субдуцирует) под континентальную кору. Они образуют вулканические дуги в структуре Алеутской, Курило-Камчатской, Японской, Идзу-Бонинская, Марианской и ряда других двойных островных дуг. Кроме того, вулканизм проявляется в пределах окраинноконтинентальных вулканических поясов, таких как Андийский и Центрально-Американский. Помимо наземных вулканов много из них обнаружены на дне Мирового океана, особенно в островных системах и рифтовых зонах. Последние называют внутриплитными и часто связывают с «горячими точками»<sup>9</sup>. К таким же активным зонам относятся срединно-океанические хребты, откуда начинается спрединг (расширение) океанического дна и расхождение литосферных плит, то есть это зоны активные в тектоническом отношении, где естественно наблюдается вулканизм. Они являются дивергентными (расходящимися) границами океанических литосферных плит, где таким образом преобладает обстановка тектонического растяжения, способствующая прорыву магмы из очагов вулканов.

Однако современных вулканов в этих областях не много. К ним относятся, например, вулканы Исландии, Азорских островов, а в Индийском океане это Коморские, Кергелен и др.

Наиболее известными из внутриплитных активных вулканов, безусловно, являются Гавайские вулканы, которые наиболее известны, и где, кстати, расположен известный Гавайский геофизический институт США, ведущий многие годы наблюдения за вулканами, извергающимися очень часто, сейсмичностью и цунами. Вулканы такого типа связывают в последние годы с «горячими» точками.

Таким образом, современное расположение действующих вулканов контролируются конвергентными и дивергентными границами литосферных плит, а также «горячими точками».

К таким же активным зонам относятся срединно-океанические хребты, где начинается спрединг (расширение) океанического дна и расхождение литосферных плит, то есть это зоны активные в тектоническом отношении, где, естественно, наблюдается вулканизм. Они являются дивергентными (расходящимися) границами океанических литосферных плит, где, таким образом, преобладает обстановка тектонического растяжения, способствующая прорыву магмы из очагов вулканов.

Активен вулканизм в Африке, он связан здесь с Камерунским рифтом и главным образом с Восточно-Африканской рифтовой зоной, где расположены известные вулканы Кении и Танзании: Килиманджаро, Вирунга, Меру и др.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Святловский А.Е. Структурная вулканология. М.: Недра, 1971. 232 с.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Рэдулеску Д.П. Вулканы сегодня и в геологическом прошлом. М.: Недра, 1979. 255 с.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Злобин Т.К., Федорченко В.И. Глубинная структура вулкана Головнина по данным изучения обменных волн от землетря-сений // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 99–103.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Макдоналдс Г. Указ. соч. <sup>5</sup> Рэдулеску Д.П. Указ. соч.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Рудич К.Н. Каменные факелы Камчатки. Новосибирск: Наука. 1974. 174 с.

Короновский Н.В. Общая геология: Учебник. М.: КДУ, 2006. 528 с.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Раст Х. Указ. соч.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Злобин Т.К., Полец А.Ю. Извержение вулкана Пик Сарычева 11–16 июня 2009 года на о-ве Матуа, сильные Симуширские землетрясения 2006–2009 года на Средних Курилах – их возможная связь и модель сейсмовулканических процессов // ДАН. 2010. Т. 435. № 2. С. 249–254.

Хорошо известны вулканы в молодом Альпийско-Средиземноморском поясе Европы: Везувий, Стромболи, Вулькано, Этна и др. Здесь же расположены извергавшиеся сравнительно недавно в геологическом отношении (тысячи и сотни тысяч лет назад), вулканы: Эльбрус, Казбек, Арарат и др.

Как мы сказали выше, глубины залегания очагов вулканов находятся частично в том же диапазоне глубин, что и очаги землетрясений. Но если очаги землетрясений прослеживаются на глубинах от 1-5 до 600-650 км в земной коре и верхней мантии, то очаги вулканов в основном расположены в земной коре до 40 км, а зоны их магмообразования связываются с глубинами до 150 км и более<sup>2</sup>. Схематический разрез вулканической системы изображен на рис. 2.

В России вулканы расположены в основном, в Курило-Камчатской зоне: 141 вулкан на Камчатке и 68 на Курилах. Из них 67 вулканов являются действующими, 28 действующих вулканов находится на Камчатке, и 39 – на Курильских островах<sup>3</sup>.

У дальневосточных ученых наиболее широко используема классификация четвертичных вулканов Курильской островной дуги, предложенная В.И. Федорченко<sup>4</sup>, а именно:

1. Простые стратовулканы типа Сомма-Везувий, типичным представителем которых является вулкан Тятя на острове Кунашир (рис. 3).

2 Кустовые «многовыходные» стратовулканы, среди которых выделяются:

а) изолированные, например, вулкан Менделеева на Кунашире или

б) в системе хребтов – хребет Богатырь (вулканы Стопак, Буревестник и др.) на Итуруп<sup>5</sup>.

3. Кальдерные стратовулканы (вулкан Медвежий, остров Итуруп).

4. Кальдерный пемзово-пирокластический (вулкан Головнина, остров Кунашир).

5. Вулканы – экструзии.

Сравнивая общую классификацию вулканических построек со структурно-генетической классификацией курильских вулканов В.И.



Рис. 2. Схема строения вулканической системы по Мак-Гетчину<sup>1</sup>, на котором показаны диффузия летучих (А), место образования магм (В), дайкообразная проводящая магматическая камера (С), промежуточная камера (D) и взрывной кратер (E).

Федорченко, видно, что в ней отсутствуют лишь щитовые вулканы гавайского или исландского типов.

Оригинальную классификацию вулканов Курило-Камчатской дуги, признанную интересной и на которую многократно ссылался ряд известных ученых (А.А. Маракушев, Т.И. Фролова и др.) предложил В.Л. Сывороткин<sup>6</sup>. Эта классификация основана на особенностях тектонического положения вулканов, которое и определяет типы очагов, характер развития вулканических серий, химизм их продуктов и типы извержений. Автор разделил островодужные вулканы на 2-е группы: «М» – мантийные, они приурочены к поперечным, относительно простирания дуги, разломным зонам. Очаги глубокие, вулканические серии укороченные базальт-андезитовые. К М-вулканам относятся Тятя, Мильна, Эбеко, Алаид и др.

Другая группа – «К» – коровые, названа так по наличию серии промежуточных коровых очагов, включая малоглубинные периферические. Расположены К-вулканы между разломными зонами, т.е. на участках относительно пониженной проницаемости земной коры. Серии протяженные от базальтов до дацитов. «Характерной морфологической чертой К-вулканов является наличие кальдеры, что собственно и подтверждает существование под вулканической постройкой малоглубинного очага. К-вулканами являются вулканы Головнина, Менделеева, Заварицкого и др.»<sup>7</sup>. Существенное петрохимическое различие – повышенное вдвое содержание К<sub>2</sub>О в вулканитах группы M, относительно продуктов рядом расположенных вулканов группы К. Строение вулканических систем и генезис магм изучают вулканология и петрология<sup>8</sup>. Динамика недр про-

является в вулканизме довольно ярко (Г.С. Горшков, Б.И. Пийп, Е.К. Мархинин, П.И. Токарев, А.И. Иванов, И.В. Мелекесцев, В.И. Федорченко, В.А. Ермаков, С.Т. Балеста, В.А. Зобин, В.И. Горельчик и другие). В качестве примера приведем работу А.И. Малышева<sup>9</sup>, где на реальном фактическом материале рассмотрены динамические модели вулканизма и их использование при прогнозе извержений.

В геофизических исследованиях вулканов имеется два аспекта. Один из них связан с изучением продуктов вулканизма: вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований с целью поисков и разведки месторождений полезных ископаемых и их освоения. Этот аспект относится к вопросам разведочной геофизики. Второй аспект – изучение извержений действующих вулканов, исследование взаимосвязи их с глубинными процессами

Сывороткин В.Л. Коровые вулканы Курило-Камчатской островной дуги. М.: Геоинформмарк, 1996. 52 с. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.

<sup>1</sup> Мархинин Е.К. Абдурахманов А.И. Указ. соч.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги (по сейсмическим данным) / Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 150 с.; Йодер Х. Образование базальтовой магмы. М.: Мир, 1979. 238 с.; Рудич К.Н. Указ. соч. <sup>3</sup> Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона...; Курильские острова: монография / Под ред. Т.К. Злобина, М.С. Высокова. Южно-Сахалинск: Сахалинское книж. изд-во, 2004. 227 с.

Федорченко В.И., Родионова Р.И. Указ. соч.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Злобин Т.К., Волков И.А., Полец А.Ю. Анализ вулканизма и сейсмичности в литосфере Курил // Тез. Четвертой Международной научной конференции «Вулканизм, биосфера и экологические проблемы». Туапсе: НИГТЦ ДВО РАН, 2006. С. 39.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Йодер Х. Указ. соч.; Фролова Т.И., Бурикова И.А., Гущин А.В., Фролов В.Т. Происхождение вулканических серий островных дуг. М.: Недра, 1985. 275 с.

Малышев А.И. Жизнь вулкана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 261 с.

(сейсмическими, геодинамическими, тектономагматическими и др.). Эти работы обусловлены важностью их для оценки сейсмовулканоопасности. Этот аспект относится к фундаментальным геофизическим исследованиям, ему и посвящена настоящая работа.

Для Курильского региона наряду с интенсивным современным вулканизмом характерна чрезвычайно высокая сейсмичность. Наиболее ценную и объективную информацию о структуре корневых зон вулканов по-ставляют сейсмические методы. Как показано в работах Т.К. Злобина<sup>1</sup>, они дают возможность не только устанавливать непосредственное пространственное положение и форму аномальных объектов, отождествляемых с «магматическими очагами» и «подводящими каналами», но и определять некоторые физические параметры выполняющего их вещества (сжимаемость, вязкость, добротность, поглощение упругих сейсмических волн и др.). Кроме того, возникает вопрос о том, как можно связать столь высокую сейсмическую активность данного района с извержениями вулканов.

У вулканов островной дуги существует два типа магматических очагов: первые представляют собой источники глубинных расплавов, вторые – промежуточные и периферические места их накопления и дифференциации. Существование магмогенерирующих очагов, благодаря самому факту развития современного активного вулканизма, ни у кого сомнений не вызывает. Некоторые разногласия возникают лишь по поводу того, на какой глубине, в каких исходных породах, и в результате каких процессов они формируются. По-видимому, наиболее оптимальные для магмообразования условия реализуются в астеносферных зонах. Они распространены в островодужных вулканических поясах и поднимаются непосредственно к подошве земной коры.

### 2. Экспериментальные исследования вулканов Курильских островов

Исследования были проведены на вулканах островов южного, среднего и северного звена Курил. На Южных Курилах были проведены исследования на вулканах самого южного острова – Кунашир. При этом было изучено глубинное строение вулкана Тятя, извергавшегося последний раз 14 июля 1973 г., расположенный здесь кустовой «многовыходной» вулкан Менделеева извергавшийся в 1880 г., а также кальдерный вулкан Головнина. Он извергался в 1879 г., в настоящее время отмечены лишь некоторые проявления его активности.



Рис. 3. Продольный глубинный разрез через остров Кунашир4: 1-3 комплексы (1-верхнемиоцен-четвертичный, 2-верхнеолигоцен-миоценовый, 3-геосинклинальный верхнего мела и палеогена); 4 - палеозойское (а возможно, и докембрийское) основание; 5 - базальтовый слой; 6-8 слои верхней мантии; 9 - расслоенные магматические очаги; 10 - дифференцированные интрузивные тела базальтов - более ранние порции базальтовых магм; 11 - зоны проницаемости под очагами; 12 - флюидные трансмагматические потоки; 13 - реликты субстрата в областях магматического замещения; 14 - реликты субстрата в верхней части очагов; 15 крупнейшие разломы.

#### 2.1. Исследования на Южных Курилах

К южным Курилам относятся три крупных острова – Кунашир, Итуруп и Уруп, а также мелкие вулканические острова – Черные Братья и Броутона.

На острове Кунашир находится три действующий вулкана. Кроме того, к ним некоторые исследователи относят вулкан Руруй, который соответствует типу Безымяного (на Камчатке) и Менделеева (на Курилах) с экструзивными куполами<sup>2</sup>.

Для изучения строения этих вулканов были выполнены сейсмические исследования МОВЗ и ГСЗ, в результате которых был построен глубинный разрез (рис. 3).

На нем выделены основные комплексы глубинных слоев в земной коре и верхней мантии, а также магочаги. матические При этом Т.И. Фроловой<sup>3</sup> дана их геологическая интерпретация, при которой выделены расслоенные магматические очаги, дифференцированные интрузивные тела базальтов – более ранние порции базальтовых магм, зоны проницаемости под очагами, флюидные трансмагматические потоки, реликты субстрата в областях магматического замещения и реликты субстрата в верхней части очагов. На этом разрезе нами также показаны слои верхней мантии и крупнейшие разломы, выделенные по сейсмическим данным.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги...; Злобин Т.К., Полец А.Ю. Извержение вулкана Пик Сарычева 11-16 июня 2009 года.

Бриков В.А., Абдурахманов А.И., Ермаков А.В., Семакин В.П., Штейнберг Г.С. Указ. соч. Фролова Т.И., Бурикова И.А., Гущин А.В., Фролов В.Т. Указ. соч.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Злобин Т.К., Полец А.Ю. Извержение вулкана Пик Сарычева 11-16 июня 2009 года...

## 2.2. Исследования на Средних Курилах

Среднее звено на юго-западе начинается с о. Симушир, северо-восточнее которого располагаются остров Кетой, Ушишир, Расшуа, Матуа, Райкоке, а также отдельные скалы

На Средних Курилах проведены исследования на вулкане Пик Сырычева (о-в Матуа) извергавшемся 11-16 июня 2009 г. Основные результаты и наиболее детальные данные на Средних Курилах были получены нами в процессе исследования извержения этого вулкана и связи его с мощнейшими (М=8,3 и 8,1) Симуширскими землетрясениями 2006-2009 гг. Эти исследования позволили создать модель извержения вулкана.

Извержение вулкана Пик Сарычева 11–16 июня 2009 г. на Средних Курилах (о-в Матуа) было одним из крупных за исторический период. Высота пепловых облаков – до 16 км была максимальной за всю историю наблюдений. Выпадение пепла было зафиксировано на космических снимках со спутников. Шлейф вулканического пепла протянулся до 3 тыс. км. С 23 июня по 3 июля 2009 г. ИМГиГ ДВО РАН осуществил экспедицию на о-в Матуа<sup>2</sup>. В результате извержения вулкана Пик Сарычева были обнаружены пирокластические потоки, излившиеся в океан. Минимальный объем изверженных пород составил около 0,4 км<sup>3</sup>.

За несколько лет до этого события, а именно, 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. на Средних Курилах произошло катастрофическое и сильное землетрясения с магнитудой M<sub>w</sub>=8,3 и M<sub>w</sub>=8,1 соответственно<sup>3</sup>. В дальнейшем за период с 2006 по 2009 гг. на Средних Курилах в районе о-ва Симушир произошла серия сильных землетрясений, первые особенности которых были также рассмотрены в работе Т.К. Злобина и А.Ю. Полец<sup>4</sup>.

Произошедшие сейсмические и вулканические события на Средних Курилах позволяют говорить об активизации недр в Центрально-Курильском сегменте Курило-Камчатской островной дуги – зоне сочленения литосферных плит. При этом ранее на примере Южных Курил и Сахалина на основе механизмов очагов землетрясений нами была показана возможность реконструкции реальной динамики литосферы и движений блоков земной коры<sup>5</sup>. Поэтому представляет интерес рассмотреть названные на Средних Курилах события с точки зрения динамики недр, особенностей сейсмичности, глубинного строения и возможного положения здесь корневых зон вулканов. Это стало возможно благодаря тому, что на всех островах Курильской дуги и слагающих их вулканах с 1975 г. ИМГиГ ДВО РАН проводил глубинные сейсмические исследования методами ГСЗ (глубинного сейсмического зондирования) и МОВЗ (метод обменных волн землетрясений)<sup>6</sup>, позволившие изучить структуру, скоростные особенности земной коры, внутреннее строение вулканов и выявить магматические очаги и корневые зоны магмоообразования. Предшествующие исследования внутреннего строения сейсмофокальной зоны (СФЗ) свидетельствуют о сложном внутреннем строении СФЗ, ее поперечной неоднородности и зональности<sup>7</sup>. Субдуцирующая Тихоокеанская плита представляется не однородной единой плитой, а состоящей из сегментов (блоков), отличающимися по глубине, размерам, строению и сейсмичности. Выполненные исследования показали, что последние сильные землетрясения Средних Курил могут быть связаны здесь с тектономагматической активностью и движением (погружением) северо-западной части Тихоокеанской литосферной плиты, происшедшие в Средне-Курильском сегменте от Симушира до Матуа.

Активизация движения литосферной плиты в среднекурильском сегменте и вызванное субдукцией увеличение трения плит на границах этого блока привело к повышению температуры в зоне контакта. Следствием этого и других причин явилось плавление пород, изменение и свойств магмы в очаге. В свою очередь изменение содержания флюидов, газов, их давления под вулканической дугой способствовало подготовке и извержению вулкана Пик Сарычева, которое произошло в июне 2009 г.

При этом анализ сейсмичности показал, что извержению названного вулкана не предшествовала какаялибо повышенная и значимая сейсмичность непосредственно в районе вулкана. Не наблюдалось, и не известны были никакие предшествующие сейсмические признаки произошедшего извержения. Поэтому необходимо проанализировать особенности глубинного строения литосферы, сейсмичность за длительный период и тектоническое поле напряжений в районе Средних Курил под о-вом Матуа (вулканом Пик Сарычева).

Основную информацию о сейсмичности недр Курил дают карты эпицентров и глубинные разрезы гипоцентров землетрясений. Ранее за период инструментальных наблюдений с 1995 по 2000 гг. по данным СФ ГС РАН мы построили разрез гипоцентров землетрясений вдоль Курильской островной дуги (КОД) в полосе 100 км<sup>8</sup>. В настоящей работе проанализирована карта эпицентров (рис. 4) и построен глубинный разрез гипоцентров Сред-них Курил от о-ва Симушир до о-ва Харимкотан в полосе 50 км по каталогу NEIC<sup>9</sup> за 2000–2009 гг. (рис. 5).

Кроме того, ранее при многолетних сейсмических исследованиях методом МОВЗ на вулканах Курильской островной дуги, были построены глубинные сейсмические разрезы земной коры и верхней мантии вдоль большинства вулканов и островов Курильской дуги<sup>10</sup>. Это позволило выделить области отсутствия обменных волн землетрясе-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 239 с. <sup>2</sup> Левин Ю.В., Рыбин А.В., Разжигаева Н.Г., Василенко Н.Ф., Фролов Д.И., Майор А.Ю., Салюк П.А., Жарков Р.В., Прытков А.С., Козлов Д.Н., Чернов А.Г., Чибисова М.В., Гурьянов В.Б. Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева-2009» (Куриль-ские острова) // Вестник ДВО РАН. 2009. № 6. С. 98–104. <sup>3</sup> Здобин Т.К. Поплавская П.Н. Попец А.Ю. Серия сили им и катастрофицеоких Силимирских самостроеоний 2006. 2000

з Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Полец А.Ю. Серия сильных и катастрофических Симуширских землетрясений 2006–2009 гг.: основные особенности и сейсмотектоника очаговых зон // ДАН. 2009. Т. 428. № 4. С. 531-535. <sup>4</sup> Злобин Т.К., Полец А.Ю. Очаговые зоны катастрофических Симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. (Мw=8,3) и 13 янва-ря 2007 г. (Мw=8,1) и глубинное строение земной коры Средних Курил // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 5. С. 54–63.

 <sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 2007 Г. (ин. 6,1) и глуонанос строение земной коры средних курил// тихоокеанская теология. 2009. 1. 20. № 5. С. 34–65.
<sup>5</sup> Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Полец А.Ю. О возможности реконструкции реальной динамики земной коры (на пример южных районов Сахалина и Курильских островов) // ДАН. 2009. Т. 427. № 6. С. 829–832.
<sup>6</sup> Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги...

 <sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островнои дуги...
<sup>7</sup> Злобин Т.К., Левин Б.В., Полец А.Ю. Первые результаты сопоставления катастрофических Симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. (М=8,3) и 13 января 2007 г. (М=8,1) и глубинного строения земной коры Средних Курил // ДАН. 2008. Т. 420. № 1. С. 111–115.
<sup>8</sup> Злобин Т.К., Волков И.А., Полец А.Ю. Анализ вулканизма и сейсмичности в литосфере Курил // Тез. Четвертой Международной научной конференции «Вулканизм, биосфера и экологические проблемы». Туапсе: НИГТЦ ДВО РАН, 2006. С. 39.
<sup>9</sup> *National Earthquake Information Center – NEIC*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, n.d. Web. <<a href="http://neic.usgs.gov">http://neic.usgs.gov</a>.



Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений средней части Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны за 2000-2009 гг. по каталогу NEIC. На врезке – район исследований на Средних Курилах. В рамке – 50-километровая полоса эпицентров и положение линии разреза.

1–5 – магнитуда землетрясений: М < 5 (1); 5 ≤ M < 6 (2); 6 ≤ M < 7 (3); 7 ≤ M < 8 (4); М ≥ 8 (6). ний. Аномальное затухание в них сейсмических волн, преимущественное затухания или отсутствия поперечных волн, а также приуроченность к действующим вулканическим постройкам позволили отожествлять эти области с областями однородной, гомогенной частично расплавленной породы, которые мы связывали с магматическими очагами, а также зонами магмообразования. Сопоставление этих зон, связываемых с магматическими очагами вулканов и областей отсутствия землетрясений показало их принципиальное соответствие. Это было показано под Южными Курилами, где проводились детальные исследования. При этом названные зоны расположены практически везде в пределах выделенных нами областей отсутствия гипоцентров землетрясений.

На построенном разрезе гипоцентров землетрясений за 2000–2009 гг. по каталогу землетрясений NEIC мы оконтурили области отсутствия землетрясений. Такая область была выделена в литосфере под Средними Курилами (рис. 5). При этом возможная ошибка в определения гипоцентра по каталогу NE-IC показана концентрическими зонами диаметром 30 и 40 км.

Из разреза следует, что магматический очаг вулкана Сарычева, извергавшегося в 2009 г. на о-ве Матуа, может находиться только в пределах этой, выделенной области. Она около 30 км в ширину и 200 км в глубину. При этом сам магматический очаг находился под постройкой вулкана, в районе 145–150 км профиля (рис. 5).

Поскольку землетрясения указывают на хрупкость среды, а деформации в очаге землетрясения исключают наличие пластичного, расплавленного вещества, то о возможном существовании магматического очага вулкана можно говорить в пределах областей отсутствия землетрясений. Это подтвердилось при детальном анализе слабой местной сейсмичности на вулкане Сент-Хеленс. С. Карей показал<sup>1</sup>, что в магматической камере землетрясений, вызванных подъемом магмы, нет, а сейсмогенная зона находится за ее пределами, окружает ее и оконтуривает. То же показали детальные исследования сей-

смичности Гавайской вулканической системы при построении пространственно-временной модели этой вулканической системы путем томографического анализа сейсмичности, приведенные П.Е. Котляр<sup>2</sup>. При этом вычисления положения гипоцентров землетрясений выполнялись с точностью <u>+</u>1,0 км.



Рис. 5. Глубинный разрез гипоцентров землетрясений на Средних Курилах

1-3 - гипоцентры землетрясений с магнитудой 4≤М <5 (1); 5 ≤M <6 (2); M > 6 (3); 4 линия контура областей отсутствия землетрясений. Стрелками показано движение флюидов и теплового потока. Вертикальными прямыми линиями показано положение областей с пониженными сейсмическими скоростями, по данным ГСЗ. Тонированные концентрические области вокруг гипоцентров возможной зоны ошибки определения.

Судя по продуктам извержения вулкана Пик Сарычева в 2009 г., а также продуктов и при предыдущих извержениях (андезиты и андезитобазальты)<sup>3</sup> магматический очаг вулкана Пик Сарычева располагается в нижнем слое

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Carey S. "The Magma Chamber Beneath Mount St. Helens." Maritimes 29.1 (1985): 1011.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Котляр П.Е. Пространственно-временные модели Гавайской вулканической системы (томографический анализ сейсмичности). Новосибирск: ИГиГ СО АН ССР, 1989. 40 с.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.; Левин Ю.В., Рыбин А.В., Разжигаева Н.Г.,

земной коры, на глубинах от 10-15 до 25 км. Это хорошо согласуется с нашими предыдущими исследованиям вулканов Курильских островов<sup>1</sup>. При этом зона магмообразования может простираться и в верхнюю мантию. Согласно разрезу гипоцентров землетрясений (рис. 5) протяженность области отсутствия землетрясений выявленная под Средними Курилами уходит в глубину до 200 км и более. Наличие ксенолитов найденных в лавах вулкана Кунтоминар на соседнем острове Шиашкотан, а также вулкана Пик Немо (о. Онекотан) и в кальдере Заварицкого (о. Симушир)<sup>2</sup> подтверждает возможность существования глубинной зоны магмообразования.

Подъем магмы происходит по ослабленным зонам, разломам, тектоническим нарушениям, трещинам и разрывам, которые возможны только при наличии условий растяжения в литосфере. Поэтому ниже проанализированы сейсмотектонические условия в литосфере Средних Курил и рассмотрены поля упругих напряжений. обстановки сжатия и растяжения в очагах землетрясений под Курило-Камчатской островной дугой в сейсмофокальной зоне<sup>3</sup>. Анализ этих данных показывает следующее. Характер деформации структур земной коры и верхней мантии (глубины 0-60 км) блока в центре Курильской островной дуги, согласно И.Г. Симбиревой, С.А. Федотова и др.<sup>4</sup> обуславливают области растяжения (рис. 6).



Рис. 6. Проекция траекторий осей сжатия и растяжения в вертикальной плоскости вдоль фокальной зоны, из работы Симбиревой и др.

1 - траектория осей сжатия, ориентированных вдоль (а) и в крест (б) фокальной плоскости и положение в пространстве главных нормальных осей напряжений сжатия o<sub>3</sub> (в); 2 – траектория осей растяжения, ориентированных вдоль фокальной плоскости (а) и положение в пространстве главных нормальных осей напряжений растяжения о 1 (б); 3 - зоны максимальных градиентов локального поля напряжений. Величина стрелок соответствует количественному соотношению растягивающих и сжимающих сил.

Обстановка растяжения земной коры в районе Средних Курил способствовала возникновению разломов, с которыми мог быть связан подъем магмы и извержение вулкана Пик Сарычева на о-ве Матуа.

С глубин от 70 до 100 км выделяется зона максимальных градиентов локального поля напряжений. Она прослежена вдоль дуги под Средними и Северными Курилами и уходит почти вертикально вверх к острову Симушир, где преобладают растягивающие силы. Здесь же эта зона уходит и вниз в верхнюю мантию. Ниже, на глубинах 100-250 км в северной и центральной части Курильской дуги на этих глубинах преобладают горизонтально ориентированные растягивающие силы. Следовательно, названная сейсмотектоническая обстановка на Средних Курилах могла способствовать извержению вулкана Пик Сарычева на о-ве Матуа. Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. На глубинном разрезе гипоцентров землетрясений (рис. 5) в земной коре и верхней мантии на Средних Курилах в районе о-ва Матуа под вулканом Пик Сарычева выделена асейсмичная область, способная вмещать магматический очаг.

2. На основе изучения положения в пространстве главных нормальных осей напряжений сжатия и растяжения на Средних Курилах, включая о-в Матуа установлено, что здесь имела место обстановка растяжения. Это способствовало подъему магмы из нижележащего очага.

<sup>2</sup>Федорченко В.И., Родионова Р.И. Указ. соч.

Василенко Н.Ф., Фролов Д.И., Майор А.Ю., Салюк П.А., Жарков Р.В., Прытков А.С., Козлов Д.Н., Чернов А.Г., Чибисова М.В., Гурьянов В.Б. Указ. соч.

Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги...

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Симбирева И.Г., Федотов С.А., Фиофилактов В.Д. Неоднородности поля напряжений Курило-Камчатской дуги по сейсмологическим данным // Геология и геофизика. 1976. № 1. С. 70–86. <sup>4</sup> Там же.

## ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ 3(17)/2014

3. На Средних Курилах после длительного сейсмического затишья 15 ноября 2006 и 13 января 2007 гг. произошли катастрофические Симуширские землетрясения с магнитудами 8,3 и 8,1, а также последующие сильные землетрясения в 2008–2009 гг.<sup>г</sup>, которые были способны оживить тектонические разрывы.

Усиление сейсмической активности, проявившиеся в землетрясениях 2006–2009 гг. и извержение вулкана Пик Сарычева 11–16 июня 2009 г. на острове Матуа свидетельствуют о повышении тектономагматической активности Средних Курил и усилении движениях здесь в последнее время этого сегмента Тихоокеанской литосферной плиты.

4. Согласно модели сейсмовулканических процессов извержение вулкана Пик Сарычев связано с субдукцией Тихоокеанской плиты, трением контактирующих блоков, возникновением в результате этого плавления пород, последующим подъемом расплавленного вещества и флюидов в зону магмообразования и магматический очаг (рис. 7).



Рис. 7. Вертикальный разрез поля гипоцентров землетрясений 15.11.2006, 13.01.2007, 03.03.2008, 15.01.2009 и 07.04.2009, их афтершоков и сейсмодислокации в крест простирания Курильской островной дуги. 1, 3 – пологий надвиг; 2 – сброс; 4,5 – взбросы. І – область плавления; ІІ – поток тепла и флюидов.

## 2.3. Исследования на Северных Курилах

В состав северного звена входят острова Ловушки, Чиринкотан, Экарма, Шиашкотан, Харимкотан, Онекотан, Маканруши, Анциферова, Парамушир, Атласова и Шумшу.

На Северных Курилах – на острове Парамушир – расположены самые активные на Курилах действующие вулканы Эбеко и Чикурачка. Нами проанализированы извержения этих вулканов, имевшие место со дня проведения нами совместных исследований сейсмичности и извержения вулканов и выявлена связь сейсмической активности с извержением этих вулканов.

Вулкан Чикурачки за эти годы извергался 6–20 сентября 1973 г., 19 ноября 1986 г., 15 января – конец апреля 2002 г., 17 апреля – 6 июня 2003 г., 21 июля 2005 г., 10 марта – 7 апреля 2005 г., 4 марта – 7 апреля 2007 г., 19 августа – 20 октября 2007 г., т.е. 8 раз.

Вулкан Эбеко в эти годы извергался 14 октября 1987-1990 гг., 16-22 марта 1998 г., 8 –16 февраля 2005 г., и 29 января – 7 апреля 2009 г., т.е. 4 раза.

Изучая и анализируя данные сейсмической активности, а также данные об извержениях вулканов Северных Курил на о. Парамушир, отметим, что за последние 38 лет произошло двенадцать случаев извержения вулканов и зафиксировано 160 события сейсмической активности по данным международного каталога землетрясений NEIC<sup>2</sup> за 1973–2011 гг.

Для выявления закономерности и связи между сейсмической активности и извержением вулканов за этот период были построена соответствующая карта эпицентров данного района и их глубинный разрез гипоцентров землетрясений (рис. 8).

Анализ показывает, что в районе расположения вулканов можно выделить области отсутствия очагов землетрясений. Аномальное затухание в этих областях сейсмических волн, преимущественное затухание или отсутствие поперечных волн, а также приуроченность к действующим вулканическим постройкам позволили ото-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Злобин Т.К., Левин Б.В., Полец А.Ю. Первые результаты сопоставления катастрофических Симуширских землетрясений...; Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Полец А.Ю. Серия сильных и катастрофических Симуширских землетрясений 2006-2009 гг.... <sup>2</sup> National Earthquake Information Center – NEIC...

жествлять эти области с областями однородной, гомогенной, частично расплавленной породы, которые мы связывали с магматическими очагами, а также зонами магмообразования<sup>1</sup>. Поскольку землетрясения указывают на хрупкость среды и с ней могут быть связны деформации в очаге землетрясения, а их отсутствие в пределах областей отсутствия землетрясений может говорить о наличие пластичного, расплавленного (или частично расплавленного) вещества может свидетельствовать о существовании здесь магматического очага вулкана. Поэтому зоны областей отсутствия землетрясений могут быть связаны с магматическими очагами вулканов.

В литосфере о-ва Парамушир под вулканами Чикурачки и Эбеко были выделены две такие области. При этом, поскольку из области магмообразования на глубинах до 140 км прямое поступление магмы с больших мантийных глубин возможно видимо только под вулканом Эбеко, то можно заключить, что извержения вулкана Чикуракчки связаны с коровыми и подкоровыми очагами.

Под островом Парамушир на глубине от 0–50 км согласно данным каталога NEIC за последние 38 лет зафиксировано около 17 событий сейсмической активности. Далее с глубинной наблюдается повышение сейсмической активности, это связано с тем, что сейсмофокальная зона (СФЗ) проходит под островами на больших глубинах. Поэтому на глубине 50–100 км число событий достигает 25. На глубине 100–150 км зафиксировано 50 событий. На глубине 150–

190 км отмечается спад сейсмической активности до 7 событий и 3 события на глубине 190–250 км.

Область отсутствия гипоцентров под вулканом Чикурачки наблюдается только на глубине от 0 до 60 км. Далее с глубиной (60–150 км) под вулканом отмечена высокая сейсмическая активность (30 событий).

Таким образом, в результате исследований установлены две зоны отсутствия землетрясений под островом Парамушир. Одна из них расположена под вулканом Чикурачки. Первая зона имеет форму треугольника, расширяющегося до 40 км в верхней части к поверхности, и сужающегося с глубиной (55-60 км) до 10 км. Вторая зона расположена под вулканом Эбеко и имеет сложную форму, расширяющуюся до 40-45 км в верхней части на глубине до 32 км, затем она сужается до 10 км на глубине 60-70 км и вновь расширяется к максимальным глубинам ок. 130 км.

Как известно, подъем расплавленной породы (магмы) происходит по ослабленным зонам, разломам, тектоническим нарушениям, трещинам и разрывам, которые воз-



Рис. 8. Разрез гипоцентров землетрясений вдоль о. Парамушир от о. Онекотан до п-ов Камчатка (Северные Курилы):

1-5 - гипоцентры землетрясений с магнитудой: 7,1-8,0 (1); 6,1-7,0 (2); 5,1-6,0 (3); 4,0-5,0 (4); 3,4-3,9 (5); 6 - линия контура областей отсутствия землетрясений.

можны только в условиях растяжения в литосфере. Характер деформации структур земной коры и верхней мантии (глубины 0–60 км) блока в центре Курильской островной дуги, как было показано выше, согласно работе И.Г. Симбиревой, С.А. Федотова и др.<sup>2</sup>, обусловлен областями растяжения. Такая обстановка растяжения земной коры в районе о-ва Парамушир свидетельствует о том, что она способствовала возникновению разломов, с которыми могут быть связаны подъем магмы, флюидов и газов при извержении вулкана Эбеко.

Таким образом, выделенные области отсутствия очагов землетрясений в районах этих вулканов могут быть связаны с наличием здесь частично расплавленной породы и других особенностях физического состояния очагов, которые и приводят к наиболее частым извержениям вулканов Чикурачки и Эбеко.

### Выводы

В результате авторских исследований методами МОВЗ и ГСЗ на Курилах установлено глубинное строение действующих вулканов. Выявлены общие черты и отличия вулканов на флангах и центральной части Курильской островной дуги (КОД).

Максимальные глубины коровых очагов вулканов на флангах и центральной части КОД различается в соответствии с мощностью земной коры под вулканами, которая на флангах достигает 30–44 км, а в центральной части – до 25 км. Мантийные очаги прослеживаются до глубин 60–70 км и более.

Для дуги в целом общим является наличие как коровых, так и мантийных очагов даже в пределах одного большого острова (например, на Кунашире). Отличие заключается в том, что в основном более активным являются фланги дуги, причем в наибольшей степени – северный фланг (например, вулканы Чикурачки, Эбеко).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги...

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Симбирева И.Г., Федотов С.А., Фиофилактов В.Д. Указ. соч.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Абдурахманов А.И., Злобин Т.К, Мархинин Е.К., Тараканов Р.З. Извержение вулкана Иван Грозный в 1989 году // Вулканология и сейсмология. 1990. № 4. С. 3-9.
- 2. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
- 3. Ермаков В.А., Абдурахманов А.И., Ермаков А.В., Семакин В.П., Штейнберг Г.С. Вулканическое районирование: геологические основы и прогноз опасности (на примере вулкана Менделеева, о. Кунашир). М.: Мордвинцев, 2011. 200 с.
- Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Эксплозивное извержение вулкана Иван Грозный в 2012-2013 гг. (о. Итуруп, Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2013. № 3. С. 39-44.
- Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги (по сейсмическим данным). Владиво-5. сток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 150 с.
- Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности: Учебное посо-6. бие. Южно-Сахалинск: СахГУ. 2006. 132 с.
- Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы: учебное пособие. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2010. 228 с. 7.
- 8. Злобин Т.К., Волков И.А., Полец А.Ю. Анализ вулканизма и сейсмичности в литосфере Курил // Тез. Четвертой Международной научной конференции «Вулканизм, биосфера и экологические проблемы». Туапсе: НИГТЦ ДВО РАН, 2006. С. 39.
- 9. Злобин Т.К., Левин Б.В., Полец А.Ю. Первые результаты сопоставления катастрофических Симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. (М=8,3) и 13 января 2007 г. (М=8,1) и глубинного строения земной коры Средних Курил // ДАН. 2008. Т. 420. № 1. С. 111–115.
- 10. Злобин Т.К., Пеньковая О.В. Анализ связи сейсмичности и извержений вулканов Чикурачки и Эбеко (о. Парамушир, Курильские острова) // Система «Планета Земля». М.: ЛЕНАНД, 2012. С. 272-275.
- 11. Злобин Т.К., Полец А.Ю. Извержение вулкана Пик Сарычева 11–16 июня 2009 года на о-ве Матуа, сильные Симуширские землетрясения 2006-2009 года на Средних Курилах - их возможная связь и модель сейсмовулканических процессов // ДАН. 2010. Т. 435. № 2. С. 249–254.
- 12. Злобин Т.К., Полец А.Ю., Пеньковая О.В. Глубинная геодинамика и ее проявления в литосфере зоны перехода от азиатского 2012. Т. 1. Вып. 1. Режим доступа: http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/rubr1-kora-mantiya-yadro-statya1-zlobinpolecpenkovaya-2012.pdf.
- 13. Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Полец А.Ю. О возможности реконструкции реальной динамики земной коры (на пример южных районов Сахалина и Курильских островов) // ДАН. 2009. Т. 427. № 6. С. 829-832.
- 14. Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Полец А.Ю. Серия сильных и катастрофических Симуширских землетрясений 2006-2009 гг.: основные особенности и сейсмотектоника очаговых зон // ДАН. 2009. Т. 428. № 4. С. 531-535.
- 15. Злобин Т.К., Федорченко В.И. Глубинная структура вулкана Головнина по данным изучения обменных волн от землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 99–103. 16. Йодер Х. Образование базальтовой магмы. М.: Мир, 1979. 238 с.
- 17. Левин Ю.В., Рыбин А.В., Разжигаева Н.Г., Василенко Н.Ф., Фролов Д.И., Майор А.Ю., Салюк П.А., Жарков Р.В., Прытков А.С., Козлов Д.Н., Чернов А.Г., Чибисова М.В., Гурьянов В.Б. Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева-2009» (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2009. № 6. С. 98–104.
- 18. Короновский Н.В. Общая геология: учебник. М.: КДУ, 2006. 528 с.
- 19. Котляр П.Е. Пространственно-временные модели Гавайской вулканической системы (томографический анализ сейсмичности). Новосибирск: ИГиГ СО АН ССР, 1989. 40 с.
- 20. Курильские острова: монография / Под ред. Т.К. Злобина, М.С. Высокова. Южно-Сахалинск: Сахалинское книж. издво, 2004. 227 с.
- 21. Малышев А.И. Жизнь вулкана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 261 с.
- 22. Макдоналдс Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 431 с.
- 23. Мархинин Е.К. Абдурахманов А.И. Под боком у вулкана. Южно-Сахалинск: Гермес, 1990. 38 с.
- 24. Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344 с.
- 25. Рудич К.Н. Каменные факелы Камчатки. Новосибирск: Наука. 1974. 174 с.
- 26. Рэдулеску Д.П. Вулканы сегодня и в геологическом прошлом. М.: Недра, 1979. 255 с.
- 27. Святловский А.Е. Структурная вулканология. М.: Недра, 1971. 232 с.
- 28. Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 239 с.
- 29. Симбирева И.Г., Федотов С.А., Фиофилактов В.Д. Неоднородности поля напряжений Курило-Камчатской дуги по сейсмологическим данным // Геология и геофизика. № 1. 1976. С. 70-86.
- 30. Сывороткин В.Л. Коровые вулканы Курило-Камчатской островной дуги. М.: ОАЗТ Геоинформмарк, 1996. 52 с.
- 31. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО Геоинформцентр, 2002. 250 с.
- 32. Федорченко В.И., Родионова Р.И. Ксенолиты в лавах Курильских островов Новосибирск: Наука, 1975. 116 с.
- 33. Фролова Т.И., Бурикова И.А., Гущин А.В., Фролов В.Т. Происхождение вулканических серий островных дуг. М.: Недра, 1985. 275 с.
- 34. Якушева А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И. Общая геология. М.: МГУ, 1988. 448 с.
- 35. Ammon C.J., Kanamori H., Lay T. "A Great Earthquake Doublet and Seismic Stress Transfer Cycle in the Central Kuril Islands." Nature 451.7178 (2008): 561-565.
- 36. Carey S. "The Magma Chamber Beneath Mount St. Helens." Maritimes 29.1 (1985): 10-11.
- 37. Eggert S., Walter T.R. "Volcanic Activity Before and After Large Tectonic Earthquakes: Observations and Statistical Signifi-*Tectonophysics* 471.1 (2009): 14–26. cance.'
- 38. National Earthquake Information Center NEIC. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, n.d. Web. <http://neic.usgs.gov>.
- 39. Zlobin T.K., Abdurakhmanov A.I., Zlobin L.M. "Deep Seismic Investigations of Mendeleev Volcano, South Kuril Islands." Geol. Pac. Ocean. 14 (1999): 619-633.

#### Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11-2011:

Злобин, Т. К., Полец, А. Ю., Пеньковая, О. В. Глубинное строение литосферы под действующими вулканами Курильских островов и очаги землетрясений / Т.К. Злобин, А.Ю. Полец, О.В. Пеньковая // Пространство и Время. - 2014. — № 3(17). — С. 220—230. Стационарный сетевой адрес: 2226-7271provr st3-17.2014.81